



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FAUSTO PEQUENO DE CARVALHO E SÁ

MEDIDOR DE IMPEDÂNCIA NA FAIXA DE RÁDIO FREQUÊNCIA

ORIENTADOR: LUIZ REYS ROSALES
SUPERVISOR: ALBERTO VIEIRA DOS ANJOS

CAMPINA GRANDE - PB
2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

LISTA DAS FIGURAS E TABELAS:

Figura 1: Tipos de pontes LCR existentes no mercado.

Figura 2: Linha de alto falantes.

Figura 3: Diagrama de blocos do Sistema.

Figura 4: Balança de tensão RMS.

Figura 5: Curva de tensão RMS (V) X Impedância na Carga (Ω).

Figura 6: Diagrama Elétrico do Medidor.

Figura 7: Diagrama Elétrico do Medidor com Calibração.

Figura 8: Diagrama Elétrico do Amplificador Diferencial de Interface.

Figura 9: Diagrama Elétrico do Bloco Amplificador, com o Inversor.

Figura 10: Circuito PCB

Figura 11: Placas

Figura 12: Ligação das placas

Figura 13: Visão Frontal da Caixa do Equipamento.

Figura 14: Visão Tridimensional da Caixa do Equipamento.

Figura 15: Visão Traseira da Caixa do Equipamento.

Figura 16: Fotos do Equipamento (Medidor-Z) testado.

Figura 17: Fotos do Medidor-Z, com o teste incluso e com o teste fora do equipamento.

Figura 18: Fotos da Visão Interna das Ligações das Placas (Sem o Teste incluso).

Figura 19: Fotos do Medidor da Minipa MX-1001.

ÍNDICE:

INTRODUÇÃO:.....4

OBJETIVO:.....5

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:.....6

DESENVOLVIMENTO:.....10

CRONOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO:.....15

TESTES DO SISTEMA ADOTADO:.....16

RESULTADOS:.....21

CONCLUSÃO:.....22

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:.....23

ANEXOS:.....24

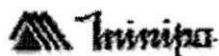
INTRODUÇÃO:

Inúmeras são as aplicações de um medidor de impedância. Em várias destas aplicações há a necessidade do conhecimento do valor da carga dado em ohms (Ω).

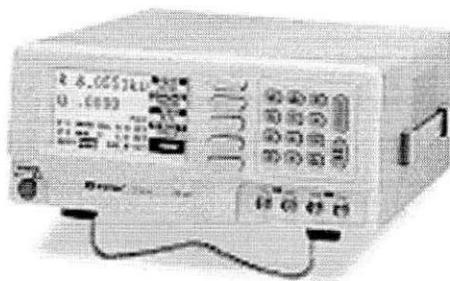
O dispositivo similar ao apresentado posteriormente neste trabalho, existe no mercado e chama-se ponte lcr. Não é encontrado facilmente no mercado, isto é, em lojas de produtos eletrônicos de pequeno porte, porque é um produto de alto custo (tabela I), inviabilizando a revenda e por consequência o seu uso em rápidas aplicações.

Tabela I: Fabricante X Preço.

Fabricante	Modelo	Preço (R\$)	Lugar encontrado
Minipa	MX-1001	490,00	Mercado livre – JCB1961(25)
Minipa	LCR-816	1800,00	http://www.minipa.com.br
Instek	LCR-817	3100,00	http://www.testequipmentdepot.com/



LCR-816 Lançamento



LCR-817



MX1001

Figura 1: Tipos de pontes LCR existentes no mercado.

OBJETIVO:

A motivação deste projeto foi à criação de um aparelho que pudesse medir a impedância de uma linha composta de alto falantes, tweeters e cornetas, para mais facilmente verificar se sua impedância esta de acordo com a saída do amplificador a ser usado no sistema de sonorização (normalmente 20Ω , nos amplificadores da Apel Aplicações Eletrônicas Ltda).

Portanto, um aparelho que medisse uma impedância de até 100Ω se adequaria perfeitamente aos propósitos dos técnicos da Apel.

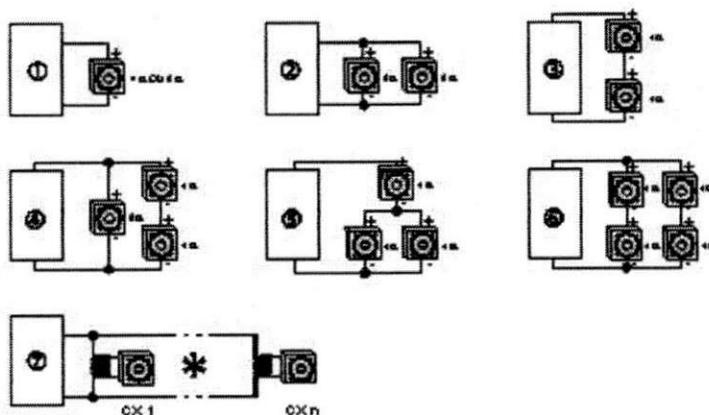


Figura 2: Linha de alto falantes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

Medidor de Impedância

O sistema considerado neste trabalho é apresentado abaixo:

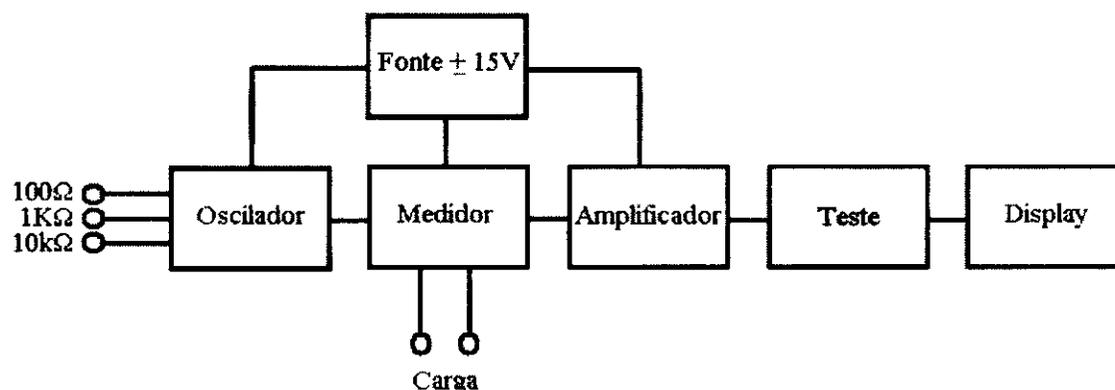


Figura 3: Diagrama de blocos do Sistema.

Como vemos, ele está dividido em cinco blocos, estão eles mostrados acima. A natureza do sinal a ser medido é AC, isto é, estamos medindo uma grandeza variável de acordo com a energia que por ela passa.

Logo, o sistema apresentado é um dispositivo prático para medir tal grandeza, neste caso a impedância de uma carga.

O princípio de funcionamento do sistema é o seguinte, mandamos um sinal AC para a carga a ser medida, e visualizamos o valor da sua impedância no display.

O primeiro bloco é o oscilador, que será o gerador de sinais AC, ele trabalhará dentro da faixa de rádio frequência, com frequências de 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz que serão alocadas em três chaves para o melhor uso. A escolha das frequências foi baseada no padrão de mercado atualmente utilizado nos aparelhos da minipa, são elas 200 Hz, 1 kHz e 5 kHz. O dispositivo projetado aqui opera além dos limites apresentados no padrão de mercado, isto se mostrará uma vantagem, como será mostrado mais adiante.

[3]

O bloco a seguir, o medidor, trata-se da base do projeto, nele o princípio da “balança de tensão” será apresentado matematicamente adiante no desenvolvimento, este consiste de um método de equivalência da amplitude da tensão RMS vinda do gerador (V_e) com a impedância da carga a ser medida (Z_3). Como em balança real, precisamos de um ponto de referência, este será chamado de v . Após passar pela malha de realimentação negativa (que consiste da carga R_2) a tensão V_e cria uma tensão RMS de referência (v) para a balança. [6]

Como na figura da balança real temos um equilíbrio (escala linear) entre o peso de referência e o peso medido, o mesmo ocorrerá entre a tensão v de referência e a tensão V_s que será medida.

O terceiro bloco é o bloco de amplificadores, ele será responsável em fazer uma interface entre o bloco anterior do medidor e o posterior do teste, para que os sinais RMS V_s (a ser medido) e v (de referência) possam ser lidos pelo teste. Este consiste de um amplificador diferencial para medir a relação V_s-v e um amplificador inversor para corrigir a saída do diferencial ($v-V_s$).

O quarto bloco consiste de um teste convencional (não projetado) que fará a leitura da tensão RMS V_s-v .

O quinto bloco é um display LCD já presente no teste (utilizado) que mostrará os resultados.

O sexto bloco introduzido, a fonte dual $\pm 15V$, será a fonte de alimentação dos amplificadores operacionais de tensão dos dois CI's TL 072 e do CI ADC 0831, além de alimentar também os transistores BD 677 e o BD 678 que estão numa configuração para eliminação da distorção crossover do sinal de saída do medidor, isto pode ser melhor visto no PCB do projeto, na sessão de anexos. [2]

A seguir veremos alguns conceitos sobre a impedância: [5]

A **Impedância** é a relação entre o valor eficaz da diferença de potencial entre os terminais em consideração, e o valor eficaz da corrente resultante num circuito. É a combinação da resistência R e a reatância X , sendo dada em ohms, e designada pelo símbolo Z . Indica a oposição total que um circuito oferece ao fluxo de corrente alternada, ou qualquer outra corrente variável numa dada frequência.

Reatância ou reatância elétrica é a oposição oferecida à passagem de corrente alternada por indutância ou capacitância num circuito. É dada em Ohms e constitui a componente da impedância de um circuito que não é devida à resistência pura.

A medida recíproca da reatância é a **susceptância**.

A relação entre impedância, resistência e reatância são dadas por:

$$Z = R + jX$$

Onde: Z é a impedância em ohms; R é a resistência em ohms; X é a reatância em ohms.

A Reatância é indicada pelo símbolo X , sendo:

$$X < 0$$

A reatância é capacitiva (X_C) e o seu valor em ohms é dado por:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Onde C é a capacitância dada em Faradays, f é a frequência dada em Hertz, Π é o $\Pi(3,14159\dots)$.

$$X > 0$$

A reatância é indutiva (X_L) e o seu valor em ohms é dado por:

$$X_L = 2\pi fL$$

Onde L é a Indutância dada em Henry, f é a frequência dada em Hertz, Π é o $\Pi(3,14159\dots)$.

$$X = 0$$

A reatância é igual à resistência ohmmica e o circuito é dito como puramente resistivo

Resistência elétrica é a capacidade de um corpo qualquer se opor a passagem de corrente elétrica pelo mesmo, quando existe uma diferença de potencial aplicada. Seu cálculo é dado pela Lei de Ohm, e, segundo o Sistema Internacional SI, é medida em Ohms.

Indutância medida em "Henry", cujo símbolo é L, é a propriedade de um circuito elétrico, ou dois circuitos vizinhos, que determina a força eletromotriz que é induzida num dos circuitos por uma determinada variação de corrente elétrica no outro.

A **capacitância** é a grandeza elétrica de um capacitor, determinada pela quantidade de energia elétrica que pode ser armazenada em si por uma determinada tensão e pela quantidade de corrente alternada que o atravessar numa determinada frequência. Sua unidade é dada em Faraday, que é o valor que deixará passar uma corrente de 1 ampere quando a tensão estiver variando na razão de 1 volt por segundo. Assim, pode-se definir a expressão da capacitância com:

$$C = \frac{q}{V}$$

Onde q é a quantidade de carga, dada em Coulomb e V é a diferença de potencial ou tensão, dada em Volts.

A capacitância verifica-se sempre que dois condutores estejam separados por um material isolante. A Impedância tem um valor que é um número complexo, portanto ela pode ser vista em termos de Módulo e Fase.

O Módulo da impedância é dado por:

$$M = \{R^2 + X^2\}^{1/2} \text{ expressão 1...}$$

A Fase da impedância é dada por:

$$\Theta = \tan^{-1} X/R \text{ expressão 2...}$$

Existem duas formas, portanto, de se medir a impedância, a primeira consiste em medir sua parte real, ou seja, a resistência R, e somá-la a medida de sua parte imaginária, ou seja, sua reatância, a segunda consiste em medir o seu módulo e sua fase.

Este trabalho é baseado na segunda forma de medição apresentada: medir o módulo e a fase. Também sabemos que o módulo da impedância engloba a resistência e a reatância, e sua unidade é dada em ohms (Ω), portanto não há a necessidade de medir a fase da impedância, porque de posse do valor do módulo da impedância da carga e do valor da resistência, medido por um ohmímetro, podemos tirar o valor da reatância X, na expressão 1. Assim, por consequência podemos calcular a fase Θ na expressão 2, fazendo simplesmente o arco tangente da razão da reatância pela resistência já encontrada.

O método proposto para a medição do módulo da impedância (Ω), será um circuito que fará uma equivalência entre uma tensão rms aplicada à carga e seu módulo da impedância, numa escala linear, ou seja, 1 volt rms será o mesmo que 1 ohm de

impedância (módulo). Isto será possível, porque o amplificador operacional utilizado em forma de **balança de tensão rms** fará esta equivalência com a carga aplicada (Ω), numa relação linearmente proporcional.

O princípio do sistema com a balança rms será mostrado na figura a seguir:

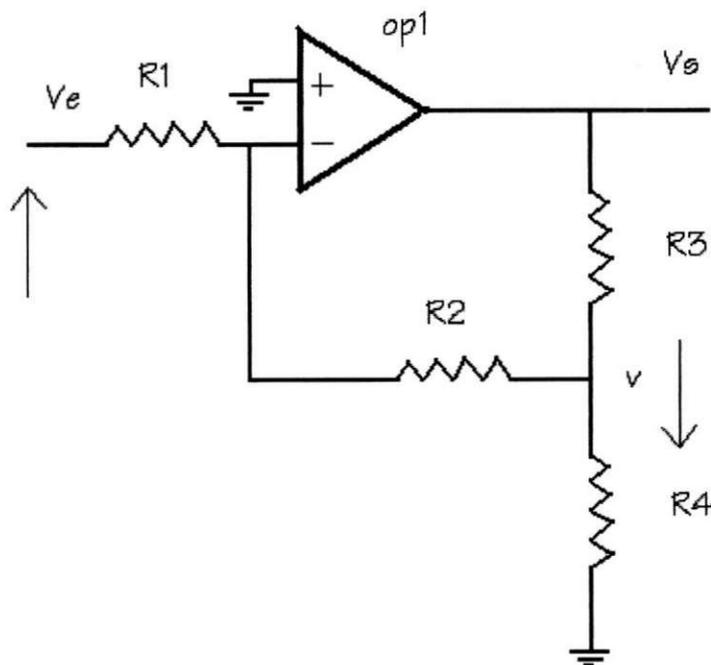


Figura 4: Balança de tensão RMS.

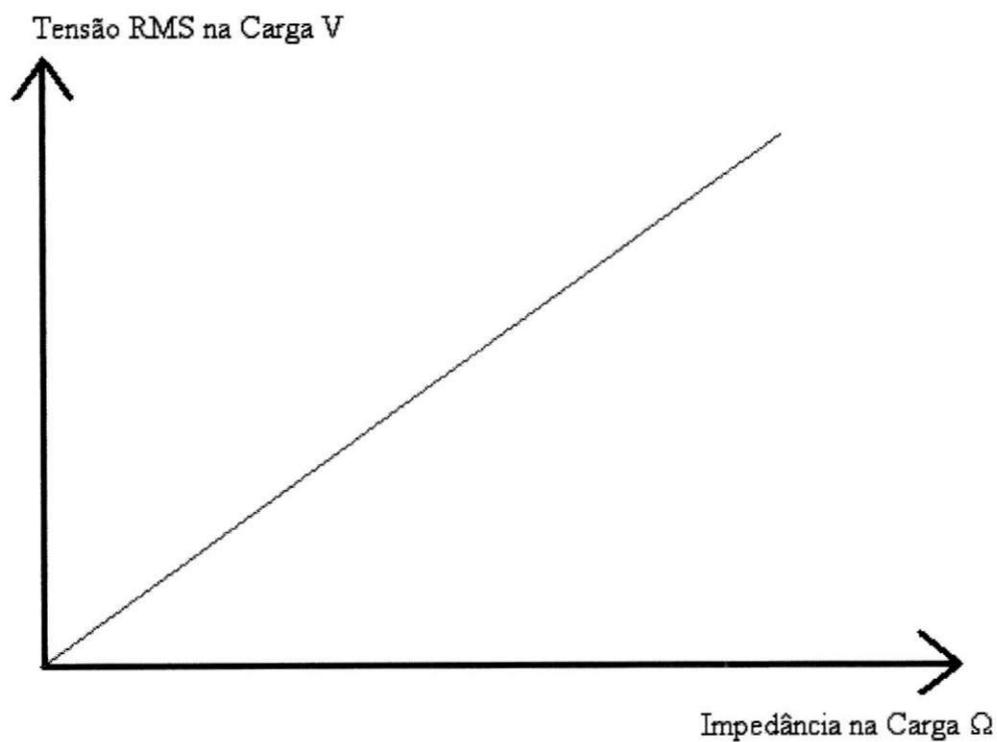


Figura 5: Curva de tensão RMS (V) X Impedância na Carga (Ω).

DESENVOLVIMENTO:

Medidor:

O circuito do medidor é o mesmo que descreve a balança de tensão. Após alguns desenvolvimentos matemáticos veremos a que a curva de tensão rms X impedância é uma curva linear, como descrito na figura 3. [6] [1]

Assim teremos, após alguns passos as equações:

$$\frac{Ve-0}{R1} = \frac{0-v}{R2} \dots(1)$$

$$\frac{Ve}{R1} = \frac{-v}{R2} \dots(2)$$

$$Ve = -\frac{R1}{R2}v \dots(3)$$

É a equação da malha dos resistores R1 e R2:

$$\frac{0-v}{R2} + \frac{Vs-v}{R3} = \frac{v-0}{R4} \dots(4)$$

$$\frac{Vs-v}{R3} - \frac{v}{R2} = \frac{v}{R4} \dots(5)$$

$$\frac{R2(Vs-v) - R3v}{R2 \cdot R3} = \frac{v}{R4} \dots(6)$$

$$\frac{R2 \cdot Vs - v \cdot R2 - v \cdot R3}{R2 \cdot R3} = \frac{v}{R4} \dots(7)$$

$$R2 \cdot Vs - v(R2 + R3) = \frac{R2 \cdot R3}{R4}v \dots(8)$$

$$R2 \cdot Vs = \frac{R2 \cdot R3}{R4}v + v(R2 + R3) \dots(9)$$

$$R2 \cdot Vs = \frac{R2 \cdot R3 \cdot v + R4 \cdot v(R2 + R3)}{R4} \dots(10)$$

$$R2 \cdot Vs = \frac{R2 \cdot R3 \cdot v + R2 \cdot R4 \cdot v + R3 \cdot R4 \cdot v}{R4} \dots(11)$$

$$R2 \cdot Vs = \frac{(R2 \cdot R3 + R2 \cdot R4 + R3 \cdot R4)}{R4}v \dots(12)$$

$$V_s = \frac{\left(R_3 + R_4 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_2} \right)}{R_4} v \dots (13)$$

$$V_s = \frac{R_3}{R_4} v + v + \frac{R_3}{R_2} v \dots (14)$$

$$V_s = \left(1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_3}{R_2} \right) v \dots (15)$$

É a equação geral do medidor de Impedância

Condições de Funcionamento do Circuito:

Se

$$R_2 \rightarrow \infty$$

$$V_s = \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) v \dots (16)$$

Teremos assim um amplificador diferencial.

Se fizermos novas condições, teremos a curva linear da figura 3:

Se

$$R_3 = R_4 \rightarrow V_s = 2v$$

$$R_3 = 2R_4 \rightarrow V_s = 3v$$

$$R_3 = 3R_4 \rightarrow V_s = 4v$$

Tratando a carga R3 como complexa, teremos:

$$R_3 \rightarrow Z_3 = R + jX$$

Onde: $Z_3 = M \angle \phi$, $M \rightarrow$ unidade "Ω" e $M = \sqrt{R^2 + X^2} \rightarrow$ "Ω" ... (4)

Usando um amplificador operacional, para termos $R_2 \rightarrow \infty$, temos:

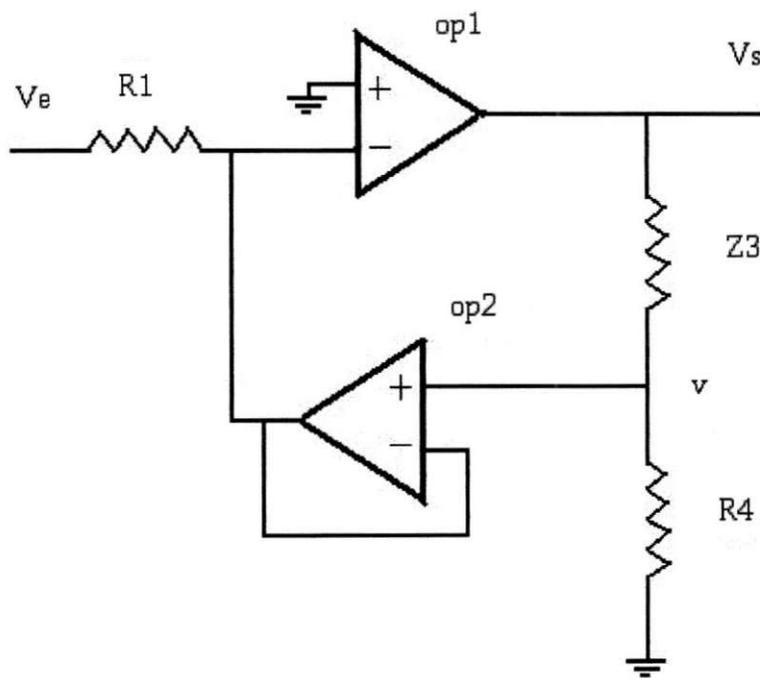


Figura 6: Diagrama Elétrico do Medidor.

Para não termos $v = 0$, pois no seguidor de tensão $V_i = V_o$ ou a $V_o = \frac{A}{1+A} V_i$, portanto deixamos à carga R2 mais o buffer para o objetivo de $R2 \rightarrow \infty$, visto de V_e .

Portanto o circuito fica como abaixo:

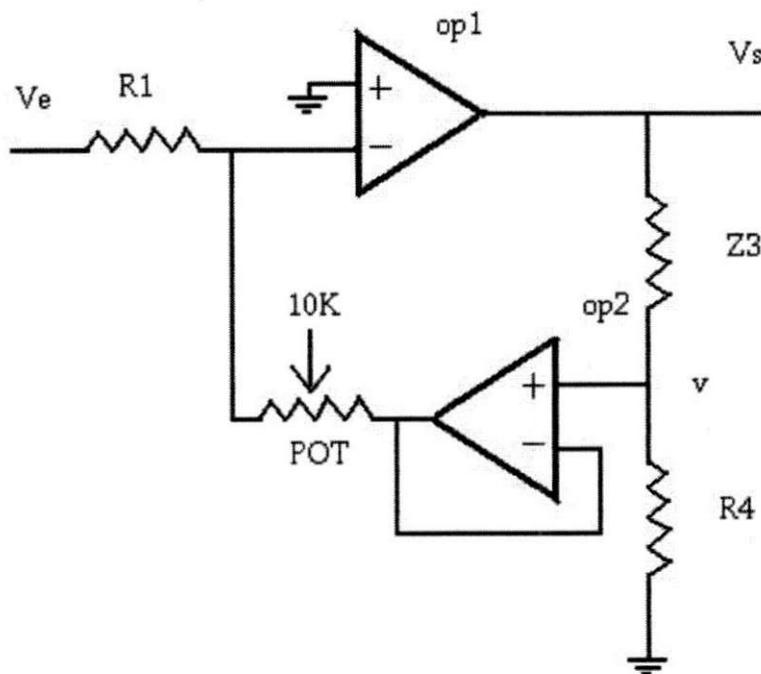


Figura 7: Diagrama Elétrico do Medidor com Calibração.

O potenciômetro utilizado no lugar de $R2$ será utilizado para dar um ajuste mais fino na calibração da tensão " v " para que obedeça a relação da expressão 3 anterior.

$$V_s = \left(1 + \frac{R3}{R4}\right)v \dots (3)$$

Observa-se também que o princípio da "balança de tensão" proposto, é obedecido na expressão 1.

$$V_e = -\frac{R1}{R2}v \dots (1)$$

$$V_e = -Av$$

Assim, se V_e cresce, v decresce, e se V_e decresce, v cresce, como uma balança ideal.

Observamos também que o ganho A na expressão 1 tende para 1 (na verdade uma indefinição), porque a carga na entrada do op1 tende para infinito e a na realimentação também tende a infinito.

Como não estamos tratando com sinais DC e sim AC, definidos pela senóide aplicada a V_e e gerada por um oscilador com 3 frequências definidas, a relação $V_s - v$ sobre a carga $Z3$ que queremos medir, será também uma senóide.

Para medirmos a senóide $V_s - v$ aplicada sobre a carga $Z3$, um amplificador diferencial será usado.

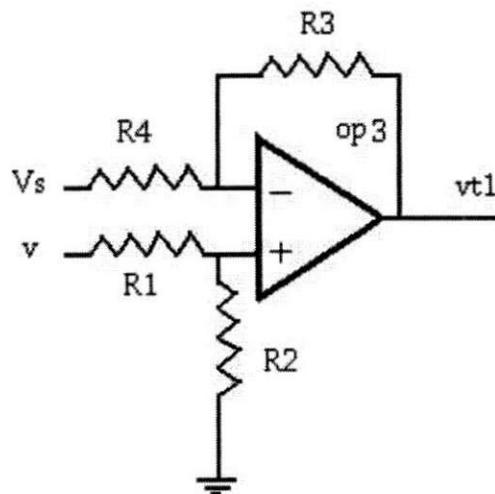


Figura 8: Diagrama Elétrico do Amplificador Diferencial de Interface.

Onde $vt1$ é dado por:

$$vt1 = \frac{R1 + R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3 + R4} v - \frac{R2}{R1} V_s \dots (5)$$

Faremos $R1 = R2 = R3 = R4$, logo:

$$vt1 = v - Vs \dots (6)$$

Assim, teremos agora que inverter o sinal de $vt1$, com um amplificador inversor:

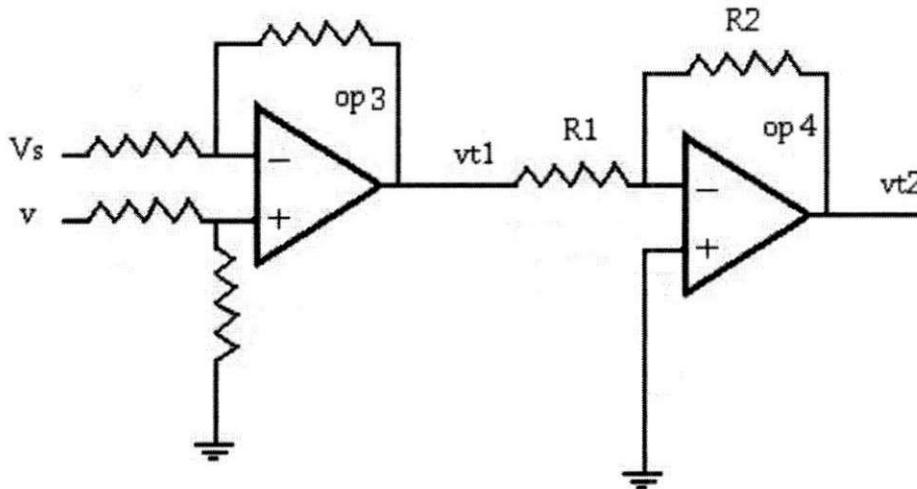


Figura 9: Diagrama Elétrico do Bloco Amplificador, com o Inversor.

$$vt2 = -\frac{R2}{R1} vt1 \dots (7)$$

Fazendo $R1 = R2$, temos:

$$vt2 = -vt1 = Vs - v \dots (8)$$

Note que, $vt1$ e $vt2$ são duas senóides defasadas de 180° .

O objetivo de termos duas senóides defasadas de 180° será para duplicar o valor RMS de referência.

Se usarmos 10Ω entre Vs e v , queremos ter $10V_{RMS}$ na saída, logo:

$$vt1_{RMS} = \frac{Vp}{\sqrt{2}} \text{ e } vt2_{RMS} = \frac{Vp}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Assim, } v_{RMS_{T1eT2}} = 2 \cdot \frac{Vp}{\sqrt{2}}$$

Agora, só precisamos ajustar o valor de pico Vp , com o potenciômetro na realimentação da malha negativa do $op1$ para que $v_{RMS_{T1eT2}}$ seja igual a $10V_{RMS}$.

CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

1ª Semana (22,23 e 24/06/05): Conhecimento da empresa e de seus funcionários, dos projetos, departamentos e familiarização com os equipamentos do laboratório da Apel, teste do compressor de sinais.

2ª Semana (de 27 à 01/07/05): Decisão da escolha do projeto; início do TCC – Medidor de impedância na faixa de RF; escolha do melhor oscilador para o projeto, desenvolvimento do oscilador, do medidor e do diferencial; primeiras medidas.

3ª Semana (04 à 08/07/05): Ajuste do oscilador (frequência utilizada e distorção da senóide); junção dos três circuitos desenvolvidos (oscilador + medidor + diferencial); novas medidas (resultado: precisamos de maior potência em cima da carga medida); escolha do melhor estágio de potência (retirado do estágio da mesa de som AP-8X a transistores e da mesa AP-XX às operacionais, da Apel); não foram realizadas novas medidas com o novo estágio de potência, porque teríamos uma potência elevada na carga e o custo de sua implementação final seria alto.

4ª Semana (11 à 15/07/05): Escolha de uma nova abordagem sobre o medidor (tensão em vez de corrente); descartando a idéia do elemento e diferencial e estágio de potência, colocando um amplificador no lugar destes para elevação da tensão sobre a carga, ajustando-o ao máximo da fonte alimentadora do sistema (+15V); calibragem final do sistema (resultado: obtenção de uma escala linear e bem precisa “duas casas decimais” de impedância de acordo com a tensão aplicada, assim, o objetivo da “balança de tensão” foi obtido, o sistema funcionou!).

5ª Semana (18 à 22/07/05): Escolha de um novo chip de operacionais (LM324), para diminuição do circuito; novos ajustes (oscilador, medidor e amplificador)... (resultado: o circuito com o TL072 apresentou uma melhor resposta em frequência).

6ª Semana (25 à 29/07/05): Desenvolvimento do projeto no programa Tango® para fazer as placas do circuito, desenvolvimento da caixa onde ficará o circuito.

7ª Semana (01 à 05/08/05): Desenvolvimento do manual do medidor, começo do relatório de projeto.

8ª Semana (08 à 12/08/05): Testes das placas, solução dos problemas das placas, furação da caixa...

9ª Semana (15 à 19/08/05): Solução dos problemas de calibração; nível DC, placa de teste imprecisa, corrente de retorno na realimentação.

10ª Semana (22 à 26/08/05): Solução de problemas com o capacitor de acoplamento para a frequência de 100 Hz, realização dos testes finais, teste 1, teste 2 e teste 3.

11ª Semana (29 à 02/09/05): Testes 4 e Teste 5.

TESTES DO SISTEMA ADOTADO:

Ao longo da realização deste projeto diversos testes foram realizados, desde a decisão dos blocos à escolha dos componentes que seriam utilizados nos mesmos. O cronograma de desenvolvimento mostra estas decisões que foram tomadas durante este projeto. Este tópico engloba cinco testes realizados, onde diferentes multímetros (bloco 4) em suas variadas escalas de tensão alternada foram utilizados, para cobrir a faixa de rádio frequência de 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz referente ao projeto aqui proposto.

As tabelas dos testes apresentados abaixo, mostram uma relação entre a carga teórica ou real com a carga lida ou medida no display de nosso medidor projetado. O **capacitor de acoplamento mencionado nos testes encontra-se na ligação entre os blocos 1 e 2, isto é, entre o oscilador e o medidor, também chamado de C3 no PCB**

Medidor Teste 1

Multímetro Utilizado - Minipa ET-2500

USANDO C=1uF de acoplamento

CARGA REAL (Ω)	CARGA MEDIDA (Ω)		
	100Hz	1KHz	10 kHz
1	1,1	1,2	1,1
2	1,9	2,2	2,1
3	2,8	3,3	3,1
4	3,7	4,3	4,1
5	4,5	5,3	5,1
6	5,4	6,3	6,1
7	6,3	7,3	7,1
8	7,1	8,3	8,1
9	8	9,3	9,1
10	8,9	10,3	10,1
20	17,6	20,5	20,2
30	26,3	30,7	30,3
40	35	40,7	38,5
50	43,6	50,8	48,5
60	52,3	61	58,3
70	59,8	71,5	68,9
80	68,3	81,7	78,9
90	76,9	91,9	88,7
100	87	101,4	97,7
110	95,8	111,3	107,2
120	104,4	121,5	117,2
130	113,2	131,7	127
140	121,8	141,8	136,7
150	130,6	152	146,3
160	139,3	162,2	156
170	148	172,2	165,6
180	156,7	181,1	174,3
190	165,3	188,8	181,6
200	172,8	194,8	188,1

em anexo.

Verificamos aqui no teste 1 uma distorção nas leituras, na frequência de 100 Hz e também um erro de 2% nas leituras das frequências de 1 kHz e 10 kHz para cargas teóricas acima de 130 Ω . Surge assim a necessidade de um capacitor de acoplamento maior para evitar esta distorção.

O medidor projetado demonstrou um limite de medição, somente cargas inferiores a 200 Ω podem ser lidas devido à limitação da fonte de alimentação do circuito à ± 15 VDC, a persistência às leituras superiores levaria a erros de distorção na senóide do oscilador superiores a 3,5%, incapacitando qualquer leitura precisa.

Medidor Teste 2

Escala Utilizada - Escala única de tensão alternada

Capacitor de Acoplamento - 100uF

Multímetro:

Minipa ET-2500

CARGA REAL (Ω)	CARGA MEDIDA (Ω)		
	100HZ	1KHZ	10KHZ
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
20	21	20	20
30	31	31	30
40	41	41	40
50	51	51	48
60	62	61	58
70	72	71	68
80	82	81	78
90	92	91	87
100	102	101	97
110	112	111	107
120	122	121	116
130	133	131	126
140	143	142	136
150	153	152	145
160	163	162	155
170	173	172	164
180	182	181	173
190	190	189	181
200	196	195	188

Um novo capacitor de acoplamento, agora de 100uF, foi testado no circuito. Verificou-se que o erro nas leituras de 2%, agora para cargas acima de 110 Ω , persistiu. E o limite da fonte para distorção da senóide do oscilador baixou, sendo verificado por qualquer carga superior a 160 Ω .

Uma nova abordagem com um multiteste com escalas de tensão RMS variadas foi proposta em um novo teste, que será o próximo apresentado, isto foi feito para dar mais precisão às medidas realizadas.

Medidor Teste 3

Multímetro Utilizado - ICEL MD5880

Capacitor de Acoplamento=100uF

CARGA REAL (Ω)	CARGA MEDIDA (Ω)		
	100HZ	1 kHz	10 kHz
1	1,00	1	0
2	2	2	1
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	6
6	6	6	7
7	7	7	9
8	8	8	10
9	9	9	11
10	10	10	12
20	20	20	28
30	30	30	44
40	40	40	60
50	50	50	76
60	60	60	92
70	70	70	108
80	80	80	124
90	90	90	140
100	100	100	156
110	110	110	158
120	120	120	177
130	130	130	195
140	140	140	214
150	150	151	232
160	160	161	250
170	170	171	269
180	186	180	286
190	193	189	300
200	198	196	320

O multímetro ICEL MD5880 utilizado neste terceiro teste possui duas escalas bem precisas, isto é, em torno da faixa de cargas que queremos medir. A primeira escala é a de 200VRMS e a segunda é a de 20VRMS que foi utilizada nas leituras de cargas abaixo de 10 Ω .

Os resultados na frequência de 10 kHz foram bastantes imprecisos devido ao multímetro que possui um erro de leitura superior a 5% nas frequências acima de 5 kHz, isto, de acordo com o manual do fabricante.

O erro nas leituras com cargas acima de 170 Ω , foi verificado a superação do limite de alimentação da fonte. Devido a não praticidade da implementação do aparelho com duas escalas de medição, foi descartada a idéia de utilizarmos um multímetro com duas escalas de medidas, já que o mesmo foi objetivado a ser utilizado também por leigos nas linhas de montagens dos alto falantes da Apel.

Medidor Teste 4

Escala Utilizada - Escala única de tensão Alternada

Multímetro Utilizado - Minipa ET - 2500

Capacitor de Acoplamento = 10uF

CARGA REAL	(Ω)	CARGA MEDIDA (Ω)	
	100HZ	1KHZ	10KHZ
1	1,26	1,24	1,12
2	2,26	2,24	2,09
3	3,26	3,23	3,07
4	4,26	4,23	4,05
5	5,27	5,23	5,03
6	6,27	6,22	6,01
7	7,27	7,22	7
8	8,28	8,22	7,96
9	9,27	9,21	8,94
10	10,27	10,21	9,91
20	20,3	20,21	19,71
30	30,3	30,14	29,52
40	40,3	40,1	37,6
50	50,3	50	47,3
60	60,2	60	57
70	70,2	70	66,5
80	80,2	79,7	76,1
90	90,2	89,7	86
100	100,2	99,6	95,3
110	110,1	109,3	104,8
120	1200	119,3	114
130	130	129,2	123,6
140	140	139,2	133
150	150	149,2	142,5
160	160	159,1	151,8
170	170	169,1	161,3
180	179,3	178,6	170,4
190	187,4	186,8	178,3
200	194,1	193,7	185,2

Novamente voltamos a utilizar o multímetro da Minipa ET-2500 com escala única de tensão RMS, mas agora novas medidas foram ajustadas com uma casa decimal para verificação da evolução da precisão, porém agora com um capacitor de

acoplamento um pouco menor, $C=10\mu\text{F}$, verificou-se que este capacitor ainda não é o ideal, verificando a carga ligada para uma frequência de 10 kHz.

Medidor Teste 5

Usando o capacitor de acoplamento de $C=20\mu\text{F}$

Escala Utilizada - Escala única de tensão alternada

Multímetro Utilizado - Minipa ET 2500

CARGA REAL	CARGA MEDIDA (Ω)		
	(Ω)	1KHZ	10KHZ
	100HZ		
1	1,3	1,25	1,13
2	2,31	2,25	2,1
3	3,32	3,25	3,09
4	4,33	4,26	4,06
5	5,34	5,25	5,04
6	6,35	6,25	6,02
7	7,36	7,25	7,01
8	8,37	8,25	8
9	9,36	9,25	9,01
10	10,37	10,25	10,01
20	20,47	20,28	19,76
30	30,59	30,24	29,59
40	40,7	40,2	39,49
50	50,7	50,2	49,39
60	60,7	60	59,29
70	70,8	70	69,19
80	80,8	80	79,09
90	90,8	90	88,6
100	100,9	100	97,8
110	110,9	110,2	105,9
120	120,7	120,2	114,2
130	130,9	130,2	123,7
140	140	140,2	133,2
150	150	150,2	142,7
160	160	161,1	152,1
170	170	171,1	161,4
180	180	179,6	170,7
190	189,6	188,3	179,6
200	196,4	195,2	186,1

Com um novo capacitor de acoplamento, agora de $C=20\mu\text{F}$, os melhores resultados foram obtidos. O teste em curto resultou em boas medidas e testes com um capacitor muito pequeno, da ordem de $C=1\text{nF}$, resultaram no corte do sinal vindo do oscilador, assim vemos que com este novo capacitor, podemos satisfazer o objetivo de leituras até $100\ \Omega$, agora podendo também medir até $200\ \Omega$ tranquilamente, com taxas de erro inferiores a 2% em cima da medida.

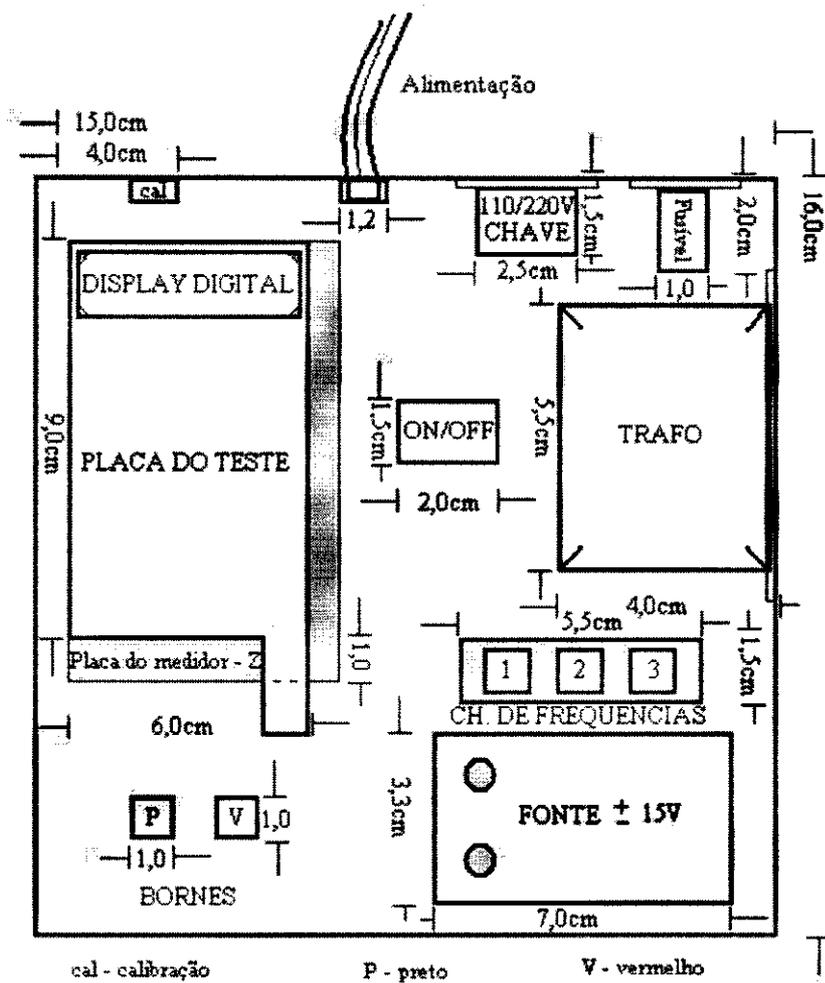


Figura 13: Visão Frontal da Caixa do Equipamento.

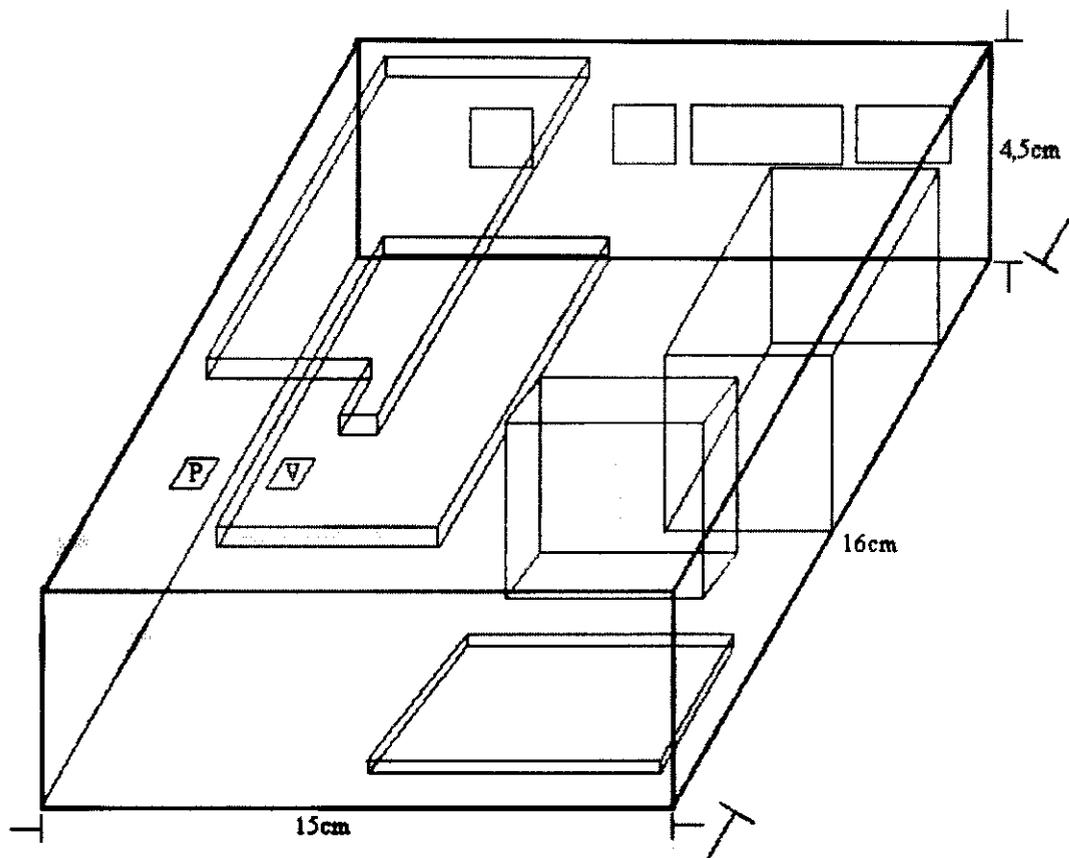


Figura 14: Visão Tridimensional da Caixa do Equipamento.

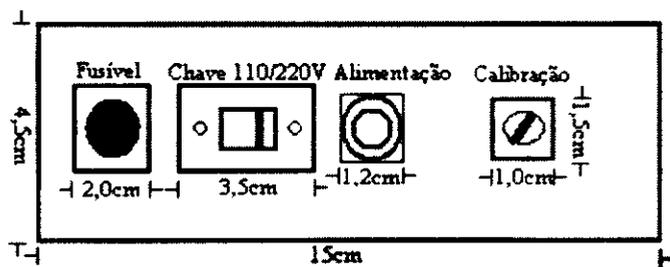


Figura 15: Visão Traseira da Caixa do Equipamento.

Fotos do Equipamento:

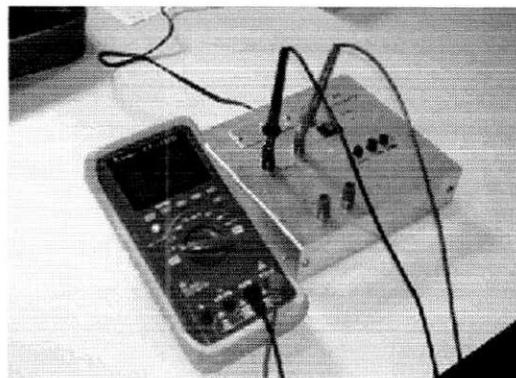
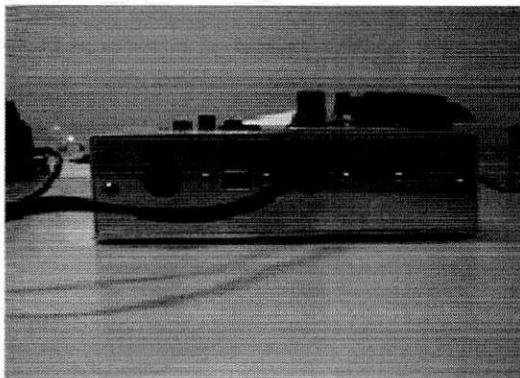
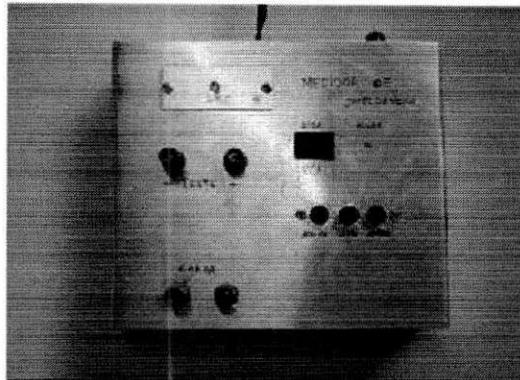
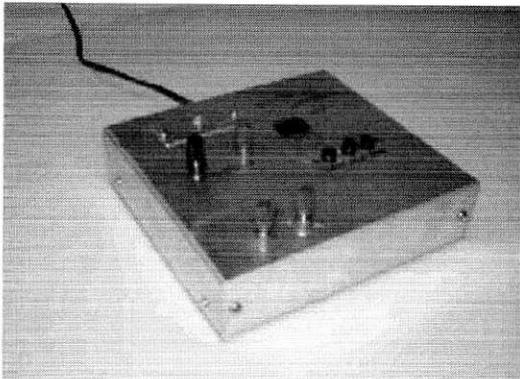


Figura 16: Fotos do Equipamento (Medidor-Z) testado.

Estas fotos mostram o medidor de impedância sem o multímetro ou teste incluso, isto é, sem os blocos 4 e 5 do sistema proposto. Aqui temos respectivamente da direita para a esquerda, uma visão lateral, uma superior, uma traseira e uma superior com o acoplamento do multímetro Minipa ET – 2500.

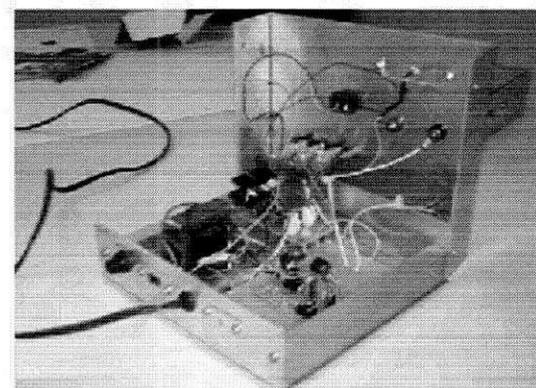
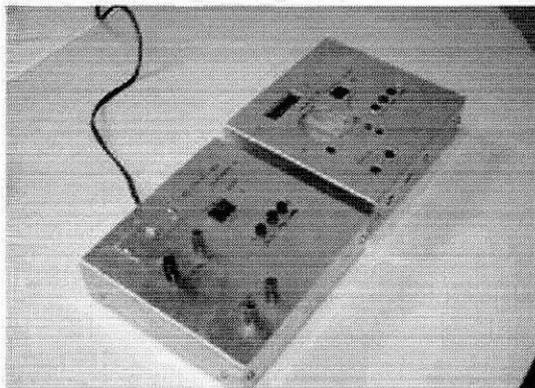
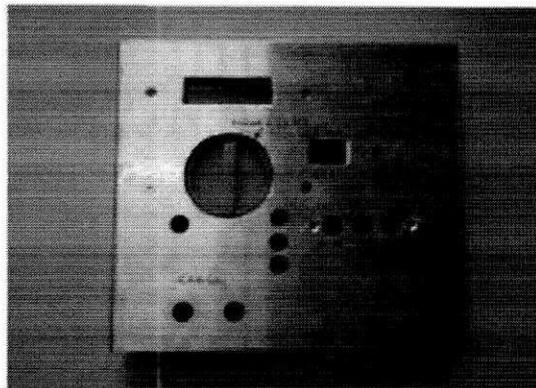
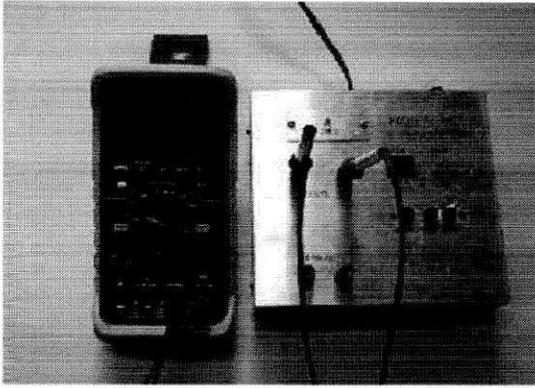


Figura 17: Fotos do Medidor-Z, com o teste incluso e com o teste fora do equipamento.

Aqui temos respectivamente da direita para a esquerda, uma visão superior com o acoplamento do multímetro Minipa ET - 2500, uma superior com um multímetro incluso dentro do medidor de impedância, uma visão lateral, mostrando a comparação entre os dois equipamentos e uma visão lateral da ligação interna entre as placas do equipamento.

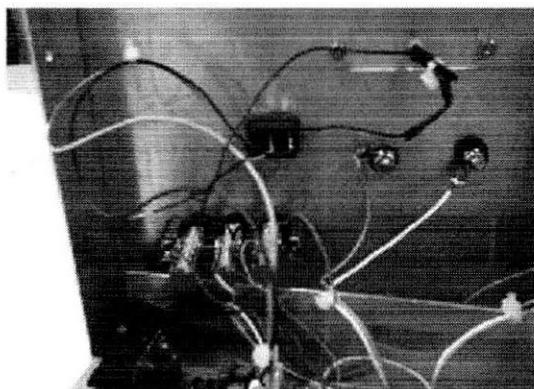
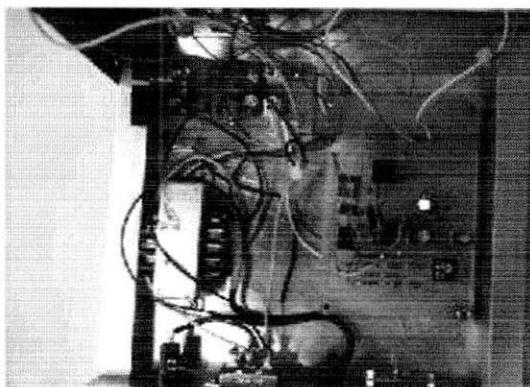
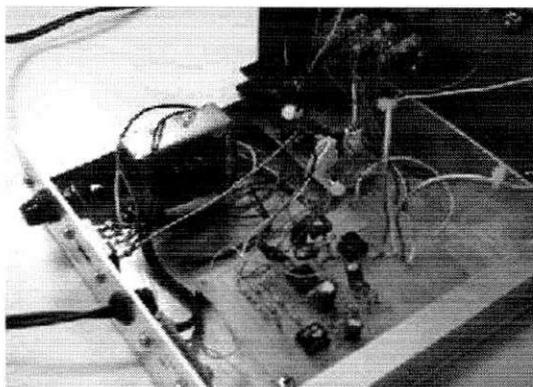


Figura 18: Fotos da Visão Interna das Ligações das Placas (Sem o Teste incluso).

Nestas fotos vemos com mais detalhes as ligações entre as placas e os botões da chave de frequências, também vemos a caixa do Minipa MX-1001 que estava disponível no laboratório da Apel Aplicações Eletrônicas Ltda.

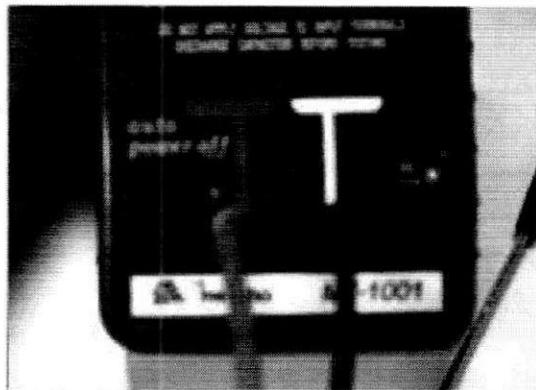
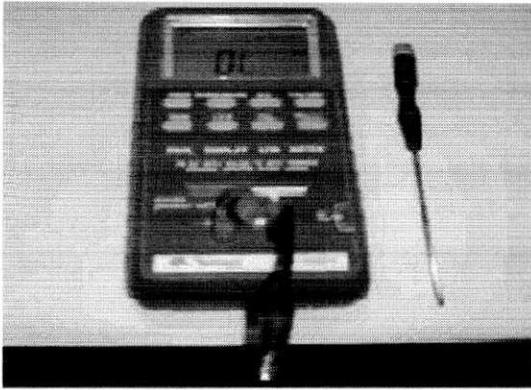


Figura 19: Fotos do Medidor da Minipa MX-1001.

Estas fotos mostram os bornes para ligar na impedância a ser medida pelo Medidor da Minipa, também mostram a entrada da fonte de 12V na lateral do aparelho de medição.